

学校编码: 10384

分类号____密级____

学 号: X200329005

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

氮爆式液压破碎锤研究与实验

Study and Experiment on Nitrogen Explosion Type

Hydraulic Impactor

池 上 飞

指导教师姓名: 席 文 明 教授

专 业 名 称: 仪器仪表工程

论文提交日期: 2011 年 9 月

论文答辩时间: 2011 年 月

学位授予日期: 2011 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2011 年 9 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。
本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

氮爆式液压锤较好的解决了常规液压破碎锤存在的两个关键问题：1、冲程时瞬时供油量大的问题；2、活塞冲程回油背压大而使活塞冲程运动阻力增大的问题。氮爆式液压锤作为一种性能突出而结构又较简单的新型液压锤，非常值得推广应用，但对它的深入研究还很不够。

本文介绍了国内外液压破碎锤的发展现状，阐述了液压破碎锤的类型和研究理论，及其基本结构和工作原理，然后在将其运动分为六种状态的基础上深入分析了氮爆式液压锤工作原理。

在此基础上建立了氮爆式液压锤仿真系统，其主要工作为：1、应用牛顿第二定律、流体连续性原理、气体状态方程建立了系统的非线性数学模型。2、针对液压锤一个周期的六种运动状态建立了对应于每个状态的基于 Simulink 的仿真模型。3、开发了基于 VB 和 Matlab 的氮爆式液压锤数字仿真软件，并实现了该型号的液压锤的数字仿真。4、改变活塞回程反馈信号孔位置、系统供油流量、氮气腔充气压力、蓄能器容积和充气压力、活塞质量、活塞直径等参数进行仿真并分析仿真结果。

在仿真结果的基础上，采用正确的测试方法和测试系统，经过系统标定，编制 Matlab 程序对采样数据进行处理，获得氮气腔的压力，依气压法计算出活塞速度，得到液压锤的冲击能量和打击频率。并将测试结果分别与设计数据、仿真结果对比分析。

本文所取得的主要成果是：1、仿真数据与实验数据相吻合，表明建立的数学模型、仿真模型是正确的，仿真结果是可靠的，为液压锤的计算机辅助设计提供了实用的软件。2、研究了液压锤结构参数对其工作性能影响，其结论对于指导液压锤的设计具有实际意义。3、测试数据与设计数据相一致，表明气压法对于氮爆式液压锤工作性能测试是可行的，也表明测试的方法和数据处理方法是正确的，可以运用于生产中。

关键词：氮爆式液压锤；计算机仿真；工作性能；测试

Abstract

There are two key problems in the traditional structure of impactor. First, it needs large instantaneous supply flow in the forward stroke. Second, high pressure return oil will cause large movement resistance. Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor which has stand out performance and simple structure can solve them preferably. It is worth to be produced, but there is lack of thorough research on it.

The paper introduces the current status of the Hydraulic Impactor's development. Types, research theories, structure and work principle of it are discussed. Then, by dividing the movement into six kinds of state the work principle of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor is analyzed thoroughly.

The paper introduces the main work of the simulation. They are: 1. By application of Newton second Law and Fluid Continuity Law and the Equation of State, the nonlinear mathematic model of nitrogen type hydraulic impactor is established based on its working principle. 2. It takes advantage of the Simulink toolboxes of Matlab obtains and carries out the simulation models. 3. The way of making simulation software base on VB and Matlab is discussed, and the software carries out the results. 4. It also carries out different results when the input data -such as, cubage and gas pressure of accumulator, piston mass, gas pressure of the Nitrogen cavity, flow of the pump is changed. Then the results are analyzed.

The way of work performance test is put forward in this paper. The test scheme of the Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor is introduced. The experiment datum which are obtained by sampling system and pressure sensor are processed by Matlab. The result by the test are separately compared with the data obtained by the simulation software and the design data.

The main productions achieved by this research are: 1. The data obtained by the simulation software are compared with the measured data. There are minor differences between them. The method of simulation can be considered to be correct, and the simulation software can be used in computer aided design of the Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor. 2. The conclusion of the study on the influence of the structure and work parameter on the Impactor's work performance may have meaning for all practical purposes. 3. As the measured data are almost equal to the design data, it indicates that the method of measuring the work performance can be considered to be corrected.

Key words: Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor, simulation, work performance, measure.

目录

| | |
|---|----|
| 第一章 前言..... | 1 |
| 1.1 国内外液压破碎锤的发展现状..... | 1 |
| 1.2 液压破碎锤的类型..... | 4 |
| 1.3 液压破碎锤理论研究概述..... | 4 |
| 1.4 本课题来源、研究意义和主要工作..... | 8 |
| 1.5 本章小结..... | 8 |
| 第二章 液压破碎锤结构及工作原理..... | 9 |
| 2.1 液压破碎锤基本结构..... | 9 |
| 2.2 液压破碎锤工作原理..... | 10 |
| 2.3 氮爆式液压破碎锤工作原理..... | 13 |
| 2.4 本章小结..... | 17 |
| 第三章 氮爆式液压破碎锤系统数学模型..... | 18 |
| 3.1 氮爆式液压破碎锤非线性数学模型建立的假设条件..... | 18 |
| 3.2 氮爆式液压破碎锤系统数学模型..... | 18 |
| 3.3 本章小结..... | 26 |
| 第四章 氮爆式液压破碎锤系统仿真模型..... | 27 |
| 4.1 面向对象的仿真..... | 27 |
| 4.2 类描述..... | 28 |
| 4.3 多态性..... | 30 |
| 4.4 仿真运行及步长的设置..... | 31 |
| 4.5 病态问题..... | 31 |
| 4.6 基于 Simulink 的液压锤仿真模型..... | 32 |
| 4.7 本章小结..... | 36 |
| 第五章 氮爆式液压破碎锤数字仿真系统..... | 37 |
| 5.1 VB 和 Matlab 结合..... | 37 |
| 5.2 基于 VB 和 Matlab 的氮爆式液压破碎锤数字仿真系统..... | 38 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 5.3 本章小结..... | 41 |
| 第六章 氮爆式液压破碎锤系统仿真结果分析..... | 42 |
| 6.1 活塞回程反馈信号孔位置对液压锤工作性能影响的仿真研究..... | 42 |
| 6.2 系统供油流量对液压锤工作性能影响的仿真研究..... | 44 |
| 6.3 氮气腔充气压力对液压锤工作性能影响的仿真研究..... | 46 |
| 6.4 高压蓄能器充气压力对液压锤的工作性能影响的仿真研究..... | 49 |
| 6.5 高压蓄能器充气体积对液压锤的工作性能影响的仿真研究..... | 51 |
| 6.6 活塞质量对液压锤的工作性能影响的仿真研究..... | 53 |
| 6.7 活塞直径变化对液压锤的工作性能影响的仿真研究..... | 55 |
| 6.8 本章小结..... | 57 |
| 第七章 氮爆式液压破碎锤性能测试..... | 58 |
| 7.1 氮爆式液压破碎锤性能测试新方法..... | 58 |
| 7.2 氮爆式液压破碎锤测试系统..... | 61 |
| 7.3 氮爆式液压破碎锤系统标定..... | 67 |
| 7.4 氮爆式液压破碎锤实验结果分析..... | 70 |
| 7.5 实验测试结果与仿真结果对比分析..... | 71 |
| 7.6 本章小结..... | 74 |
| 第八章 总结与展望..... | 75 |
| 参考文献..... | 77 |
| 附 录..... | 80 |
| 致 谢..... | 90 |

Contents

| | |
|---|-----------|
| Chapter 1 Introduction..... | 1 |
| 1.1 The current status of Hydraulic Impactor's development..... | 1 |
| 1.2 The types of Hydraulic Impactor..... | 4 |
| 1.3 The discussion about research theories of Hydraulic Impactor's development..... | 4 |
| 1.4 Source ,study meaning and major work of the thesis..... | 8 |
| 1.5 Summary..... | 8 |
| Chapter 2 The structure and working principle of Hydraulic Impactor..... | 9 |
| 2.1 The basic structure of Hydraulic Impactor..... | 9 |
| 2.2 The working principle of Hydraulic Impactor..... | 10 |
| 2.3 The working principle of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor...13 | |
| 2.4 Summary..... | 17 |
| Chapter 3 The mathematic model of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor..... | 18 |
| 3.1 The assumption about mathematic model of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor..... | 18 |
| 3.2 The mathematic model of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor...18 | |
| 3.3 Summary..... | 26 |
| Chapter 4 The simulation models of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor..... | 27 |
| 4.1 Object-oriented simulation..... | 27 |
| 4.2 Class description..... | 28 |
| 4.3 Polymorphism..... | 30 |
| 4.4 The simulation and step size settings..... | 31 |
| 4.5 Ill-posed problem..... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 4.6 The simulation models of Hydraulic Impactor based on Simulink toolboxes..... | 32 |
| 4.7 Summary..... | 36 |
| Chapter 5 The digital simulation system of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor..... | 37 |
| 5.1 The simulation software based on both VB and Matlab..... | 37 |
| 5.2 The digital simulation system of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor based on both VB and Matlab..... | 38 |
| 5.3 Summary..... | 41 |
| Chapter 6 The simulation results of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor..... | 42 |
| 6.1 The simulation study about position of feedback signal return piston on the impact of working performance of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor's simulation..... | 42 |
| 6.2 The simulation study about flow of pump on the impact of working performance of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor..... | 44 |
| 6.3 The simulation study about gas pressure of Nitrogen cavity on the impact of working performance of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor..... | 46 |
| 6.4 The simulation study about gas pressure of accumulator on the impact of working performance of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor..... | 49 |
| 6.5 The simulation study about cubage of accumulator on the impact of working performance of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor.... | 51 |
| 6.6 The simulation study about mass of piston on the impact of working performance of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor..... | 53 |
| 6.7 The simulation study about diameter of piston on the impact of working performance of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor..... | 55 |

| | |
|--|-----------|
| 6.8 Summary..... | 57 |
| Chapter 7 The test about working performance of Nitrogen Explosion | |
| Type Hydraulic Impactor..... | 58 |
| 7.1 The new testing way about working performance of Nitrogen Explosion | |
| Type Hydraulic Impactor..... | 58 |
| 7.2 The test system about working performance of Nitrogen Explosion Type | |
| Hydraulic Impactor..... | 61 |
| 7.3 The system calibration of Nitrogen Explosion Type Hydraulic Impactor.... | 67 |
| 7.4 The experimental results about Nitrogen Explosion Type Hydraulic | |
| Impactor..... | 70 |
| 7.5 The experiment results and comparative analysis of simulation results..... | 71 |
| 7.6 Summmary..... | 74 |
| Chapter 8 Conclusion and outlook..... | 75 |
| References..... | 77 |
| Appendixes..... | 80 |
| Acknowledgement..... | 90 |

第一章 前言

1.1 国内外液压破碎锤的发展现状

1.1.1 液压破碎锤及其优点

目前,国内外采矿业广泛地采用各种不同形式的破碎锤对采矿作业中的大块矿石进行破碎作业。破碎锤的冲击装置可分为三种:落锤式、气动式和液压式。其中落锤式破碎锤由于工作效率低,仅在需要大冲击能的场合才使用,使用范围小,数量少。而气动破碎锤需要在有压缩空气的现场使用,同时在工作场上需要拖拽较长的易于破损的大直径压缩空气软管,使得基本费用和维护费用较高,且工作时噪声大,排出的废气严重地污染工作环境。在环保要求日益提高的当今社会中显得很不适应而必须加以改进或被替代。

液压破碎锤(简称液压锤)以液体为动力,使冲击活塞往复运动产生动能并锤击钎杆,从而达到破岩的目的,其实质上就是液压冲击器。它不同于一般的液压传动方式,它应属于利用液压振动技术的液压振动装置。液压振动^[1]定义为:用液体为工作介质,将压力能转换成活塞运动的动能,以振动形式的输出来进行能量传递的一种传动形式。液压振动与液压传动的不同在于:

1. 液压振动机构是交变液流与运动物体相互作用的动力学机构,液压传动机构是定向液流与均匀缓慢运动的物体相互作用的静力学机构。

2. 在液压振动机构内,油压力主要由油液的体积力形成,压力能主要变换成活塞运动的动能输出。活塞运动的速度可达 10 米/秒以上。液压传动机构内的油压力则主要由油液的表面力形成,压力能主要转变成活塞的静力对外作功。

液压破碎锤作为一种新型液压工程设备,广泛应用于矿山岩石的破碎、工程建设特别是旧城改造、混凝土构件的拆毁施工中。由于其载体的多样性以及对劳动生产率的提高所发挥的有效作用,越来越受到矿山和施工部门的重视。如图 1.1 为惊天液压公司的机载式液压锤,其中拆除工具为本文的研究对象即液压破碎锤如图 1.2。液压锤具有非常优越的技术性能,给用户创造了很好的经济效益。其技术优越性表现在如下几个方面:

1. 具有较高的工作性能。由于可以使用较高的液压力,因而破碎锤能以很高的冲击力进行冲击。

2. 具有较高的机动性能。能和主机一起自行行走,不象气动破碎锤需要与空

压机连接在一起，经常要频繁搬移。



图 1.1 机载式液压破碎锤



图 1.2 液压破碎锤

3. 具有较低的工作噪音。由于液压破碎锤工作中的噪音只局限于活塞在钎杆上的冲击声，并且可以用消音套来隔离这一噪音，因此，从根本上改善了工程施工中，特别是市政建设工程中的噪声污染问题。

4. 具有较高的工作可靠性。因为液压系统是密封的，完全避免了杂质的侵入，从而减少了工作零件的磨损，使配合间隙能较长时间地保持不变。

5. 彻底改善了操作工人的工作条件。液压破碎锤的操作者就是挖掘机司机，他可以在不受气候影响的司机室内进行操作，且完全不和破碎锤直接接触，减少了操作人员的疲劳。此外，主机的振动和噪音均在一定程度上被削弱。

与气动破碎锤相比，液压破碎锤由于取消了空压机组，降低了投资费用；降低了能源消耗（在同样的工作效率下，只消耗空压系统功率的 $1/3 \sim 1/4$ ）；由于油

路系统封闭, 液压油既是驱动介质, 也是润滑剂, 磨损大大减少, 降低了维护费用; 由于不再需要空压机操作人员及风镐工, 降低了人员开支费用, 因此有着巨大的经济效益。^{[2][3][4]}

1.1.2 液压破碎锤技术及产品研究方向

虽然液压破碎锤的发展取得了巨大的成果, 但随着施工要求的不断提高和工作对象范围的不断扩展, 对液压破碎锤的性能要求也越来越高。国内外对液压破碎锤展开了各种各样的研究。集中表现在对以下几项技术的研究及相应的产品开发:

1. 根据阻力大小自动控制冲击能的技术, 业界誉为“智能液压锤”。其特点是能根据岩石的阻力, 自动监视和调节输出功率。当岩石被击穿时, 自动切断输出功率, 避免产生空打击。法国蒙伯尔特 Montabert 公司对此项技术进行了研究, 并推出了相应的产品 BRV32 和 BRV52。

2. 水下冲击技术。在航道工程中, 为了进行加深和加宽航道或疏通河床等作业以及海洋矿产的开发, 此项技术大有作为。芬兰 Rammer 公司新近开发了相应的产品。这类产品不仅拥有防锈的镀铬活塞, 且为防止水进入因活塞运动而产生快速压力脉动的冲击腔, 而将压缩空气以大于 0.6m/min 的流量输入该冲击腔并对压缩空气的流量进行严格的控制, 以免将钎具周围的润滑脂吹出。

3. 噪音及粉尘的控制技术。在市政工程中对噪音及粉尘的控制要求很高。德国克虏伯 (krupp) 公司对此进行了深入的研究, 对于其公司产品中型以下的机器都装有阻声材料。所有 HM550 型号以下的破碎锤噪声水平都在 90dB 以下。对于重型的破碎锤则使用其公司开发的 CS-BOX 箱形外罩, 使噪声水平低于 80dB。对于粉尘的控制, Rammer 公司在其开发的 JET 型号上安装了高压水泵及相应的雾化喷头。在破碎锤工作时, 水泵及喷头一起工作, 可大大降低粉尘, 有利于操作者的健康。

4. 电气控制技术。Rammer 公司近年来推出了一种破碎锤控制操纵板, 其内部结构由电子设备组成。此项技术建立在破碎锤自动换挡的技术之上, 不需要停机就可有级地调整档位, 较好的实现了对破碎锤的工作状态的控制。

5. 重型冲击技术。Rammer 公司推出了世界上最大的液压破碎锤 G120, 其工作重量为 5800kg, 冲击能达 15000J。^{[5][6][7]}

1.2 液压破碎锤的类型

液压破碎锤按其装载方式、冲击过程做功介质、配流反馈关系的不同，分类如下：^{[1][7]}

1. 按装载方式，可分为手挡式和安装式。

手持式：用来替代传统的风镐，冲击能较小（ $<500\text{J}$ ）；机载式：以液压挖掘机为载具，冲击能大，一般在 $1000\sim 6000\text{J}$ 范围，个别大型品种大于 20000J 。

2. 按冲击过程做功介质，可分为全液压做功、气液联合作功和纯氮气做功。

全液压做功：多用于冲击能较小的液压破碎锤；气液联合作功：多用于大冲击能液压破碎锤；纯氮气做功：结构简单，使用维修方便。

3. 按冲击方式，可分为钢对钢冲击，钢对液垫冲击和钢对岩石冲击。

钢对钢冲击：多用于中小型液压破碎锤；钢对液垫冲击结构：用于高能液压破碎锤；钢对岩石冲击：此方式为活塞与钎杆连成一体。

4. 按配油方式分，可分为单面配油，前腔常压，后腔常压，双面回油。

5. 按配油阀形式分，可分为有阀型，柱阀型，止动阀型，交变阀型，差动阀型，套阀型，无阀型，活塞自配油型，冲击配油型，旋转配油型，压力脉冲型，自激振动型。

1.3 液压破碎锤理论研究概述

德国克虏伯(krupp)公司早在 1963 年就申请了液压冲击作业机具专利，1967 该公司在汉诺威博览会上首次展出第一台可换装在主机上的 HM400 型液压锤。70 年代开始，各工业国家相继研制各种液压锤并投放市场。我国在 60 年代末也开始研究其理论，在二十世纪 80 年代发展形成比较成熟的技术理论，一些基本的理论和技术问题得到较好的解决。

1.3.1 液压锤的设计计算理论研究

在实践基础上结合测试手段已经逐步形成比较系统的设计规范：寻求出活塞运动的运动规律，作为液压锤机构计算方法的基础。提出在保持液流连续性的条件下活塞运动的微分方程式，作为液压锤机构设计的依据，进而提出了液压锤的一般设计方法。伴随着计算机技术的发展，液压锤设计计算理论研究经历了从线性数学模型到非线性数学模型的发展过程。

1. 线性数学模型

在早期液压锤的设计计算中, 由于计算机技术的限制, 人们多建立线性数学模型。线性模型研究中基本假设条件是“液压油压力恒定不变”, 并忽略某些影响因素, 在此基础上建立起液压锤线性模型。人们将液压锤的工作过程分为回程加速、回程制动和冲程三个阶段, 并且认为在整个工作过程中油压力恒定不变, 对于蓄能器的非线性气态方程, 研究者多取一工作平衡位置的状态将其按泰勒公式展开, 忽略二次及以上项仅取线性部分近似建立线性方程。^{[8][9][12]}

在建立这些数学模型的同时, 人们也对液压锤的回程反馈孔及冲程反馈孔的位置、冲击停顿时间、蓄能器容积及其充气压力以及配流阀的有关参数的设计计算进行了理论研究与实验分析, 得到了具有一定实用价值的设计公式。同时, 对液压锤工作参数的合理选择进行了许多探索。

中南大学杨襄璧教授以冲程时间比:

$$\alpha = T_1/T$$

作为抽象设计变量^[10] (其中 T_1 为冲程时间, T 为一次循环周期时间), 推导了液压锤结构参数与工作参数的全套设计公式, 并得出了不同优化目标的 α 值。

最大峰值流量最小 $\alpha = 0.333$

蓄能器容积变化最小 $\alpha = 0.382$

蓄能器隔膜振动次数最小 $\alpha = 0.333$

2. 非线性数学模型研究

液压锤系统运动的线性模型是建立在油压恒定不变的假设基础之上的, 为此, 必须假设:

(a) 蓄能器充气容积无穷大;

(b) 阀切换时间无穷小。

显然这实际上无法实现。实测也表明, 液压锤运动过程中, 液压力是变化的。因此, 为了更准确地反映液压锤的运动规律, 人们对液压锤系统进行了更准确、更精细、更全面的研究, 并结合现代计算技术, 产生了不少研究液压锤的非线性数学模型。

非线性数学模型由活塞和阀的动力平衡方程、流量平衡方程、蓄能器气态方程、压力平衡方程组成。气体方程和流量方程均为非线性方程。由于活塞运动分

为回程加速、回程制动和冲程加速三个阶段，如果考虑阀的运动状态则有更多运动状态，每个状态系统具有不同的压力和流量等参数。因此，方程的系数是时变的。这些方程不能获得解析解，只能求得数值解。

线性研究抓住液压锤运动的主要因素，忽略次要因素对液压锤作一些必要的假设，将冲击活塞的受力状态进行简化，得出有确切数学表达式的线性模型，这种模型用来揭示液压锤的运动规律简单明了，可方便地求得解析解。而非线性研究较多地考虑液压锤运动的影响因素，较为全面地分析液压锤的受力状态，并用高阶非线性微分方程组描述其运动规律。这种模型能较精确地提示液压锤运动的物理现象，但方程求解困难，描述不直观，只能通过计算机求得数值解。近年来，随着计算机技术的发展，非线性数学模型的研究越来越受到重视。

1.3.2 蓄能器理论研究

蓄能器是液压破碎锤的重要组成部分，蓄能器的设计品质直接关系到液压破碎锤的性能。

中南工业大学丁问司博士研究了氮爆式液压冲击器中的蓄能器，他指出氮爆式液压冲击器中高压蓄能器的作用与现有的自配流液压冲击器中高压蓄能器的作用完全不同，高压蓄能器的设置主要就是为了将冲程时的流油完全吸收，待活塞回程时释放出来，以提高效率，他还对蓄能器的充气压力进行了研究。^[11]

北京科技大学周志鸿利用传递函数法，求出蓄能器的固有频率与充气压力的公式。^[12]

1.3.3 配流阀设计研究

目前工程中使用的液压锤绝大多数是由配流阀来改变油流方向实现活塞往复运动。阀和活塞的运动互相制约，配流阀阀芯的运动速度和运动时间直接控制了活塞的运动规律。因此，必须保证配流阀运动的快速性。一般说来，配流阀阀芯的质量越小、推阀面积越大、阀芯运动行程越小则阀的运动频率越高。但若增加推阀面积，必然会增加工作循环内配流阀的耗油量，虽然阀芯运动所消耗的压力油对于液压锤的工作是必不可少的，但对于液压锤的输出功而言它是一种能量损失，因此，增加推阀面积会降低液压锤的效率。阀芯的运动行程越小，则阀的开口量越小，油流经过阀口时的压力损失越大，可见阀芯运动的行程也不能太小。所以，在设计配流阀时必须在保证阀芯动作快速性的前提下，使配流阀的能量损

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库